

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**TESIS**

**INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS  
BOSQUES DE *Pinus cembroides* SOBRE LAS INFESTACIONES DE  
*DENDROCTONUS MEXICANUS* EN ARAMBERRI, NUEVO LEÓN**

**PRESENTA**

**SEBASTIÁN YERENA YAMALLEL**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**NOVIEMBRE, 2016**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**Influencia de la Composición y Estructura de los Bosques de *Pinus cembroides* sobre las infestaciones de *Dendroctonus mexicanus* en Aramberri, Nuevo León**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**Como requisito parcial para obtener el grado de**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**Presenta**

**SEBASTIÁN YERENA YAMALLEL**

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Dr. Gerardo Cuéllar Rodríguez

**Linares, Nuevo León**

**noviembre de 2016**

<b>ÍNDICE</b>	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	3
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
2.1. Descripción de los bosques de pino	4
2.2. Descripción de los bosques de pino en México	5
2.3. Descripción de los bosques de pino en Nuevo León	7
2.4. Descripción de <i>Pinus cembroides</i>	8
2.5. Descripción del <i>Dendroctonus mexicanus Hopkins</i>	9
2.6. Importancia económica de los escarabajos descortezadores	14
2.7. Características asociadas a la susceptibilidad del bosque	15
2.8. Factores climáticos que regulan la población de escarabajos descortezadores	17
2.9. Importancia ecológica de los descortezadores	18
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>

<b>3.1. Localización y descripción del área de estudio</b>	<b>19</b>
<b>3.2. Topografía</b>	<b>19</b>
<b>3.3. Clima</b>	<b>20</b>
<b>3.3.1. Temperatura</b>	<b>20</b>
<b>3.3.2. Precipitación</b>	<b>21</b>
<b>3.4. Suelo</b>	<b>21</b>
<b>3.5. Vegetación</b>	<b>21</b>
<b>3.6. Métodos</b>	<b>22</b>
<b>3.6.1. Sitios de muestreo</b>	<b>22</b>
<b>3.6.2. Análisis estadístico</b>	<b>24</b>
<b>3.6.3. Análisis de árboles de regresión y clasificación (CART)</b>	<b>26</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>33</b>
<b><i>4.1. Estructura de los sitios infestados y no infestados</i></b>	<b>33</b>
<b><i>4.2. Análisis de las variables dasométricas</i></b>	<b>36</b>
<b><i>4.2.1. Análisis de la composición del bosque</i></b>	<b>37</b>
<b><i>4.2.2. Análisis de las variables dasométricas de los rodales.</i></b>	<b>38</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>42</b>
<b>6. LITERATURA CITADA</b>	<b>43</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

El clima mundial está cambiando; las temperaturas han aumentado, así como los patrones de precipitación, la frecuencia y la gravedad de los eventos climáticos extremos (FAO, 2005). Estos cambios están impactando fuertemente en los bosques del mundo ya que se considera que el clima es un factor toral que puede provocar cambios en la propagación de insectos (Logan *et al.*, 2008); además, el aumento en la temperatura puede contribuir a los cambios en distribución y abundancia (Bentz *et al.*, 2011).

Existen reportes de infestaciones de escarabajos descortezadores que han acabado con un gran número de árboles en Norte y Centroamérica; estas infestaciones han afectado los servicios de los ecosistemas tales como: la captura de carbono, la regulación del clima, la regulación de las cuencas hidrográficas y el hábitat para la fauna silvestre (Hicke *et al.*, 2012). Estas alteraciones bióticas son consideradas como importantes agentes de cambio en los paisajes forestales (Dale *et al.*, 2001; Seppa *et al.*, 2009).

En México, los brotes epidémicos de los escarabajos descortezadores empezaron a evaluarse desde 1960. En la década de 1970 se establecieron los primeros programas nacionales de control. Actualmente existe la NOM 019-SEMARNAT 2010 que regula la forma y el momento en que deben realizarse los saneamientos.

Hoy en día, es de importancia fundamental comprender las relaciones entre el cambio climático, los bosques y las plagas forestales, para garantizar que quienes se ocupan de la ordenación, sanidad y protección forestal puedan programar el manejo de los ecosistemas considerando las variaciones en la ocurrencia e impacto de las enfermedades o apariciones de plagas forestales. Además, los manejadores de los recursos forestales necesitan datos precisos sobre la mortalidad de árboles provocada por los escarabajos descortezadores, para tomar mejores decisiones sobre la manera de remediar las afectaciones en los bosques y restablecer los servicios de los ecosistemas (Negrón *et al.*, 2010).

Por estos motivos, una de las principales preocupaciones de los manejadores y usuarios de los bosques templados se deriva de la susceptibilidad de estos ecosistemas a las plagas; específicamente, a los escarabajos descortezadores, que en los últimos años han aumentado de manera significativa sus infestaciones. La situación de los bosques de Nuevo León no es ajena a esta problemática, ya que desde hace varios años se han tenido eventos que conducen a un debilitamiento general de grandes superficies forestales. En los bosques de *Pinus cembroides* de Aramberri, Nuevo León, han aumentado los brotes epidémicos de *Dendroctonus mexicanus* lo que pudiera provocar cambios drásticos en su composición y en la provisión de servicios ambientales.

Ante este panorama, existe la necesidad de generar investigaciones que incrementen el conocimiento sobre la vulnerabilidad de los bosques a las plagas forestales. La importancia de los bosques y sus valores tangibles e intangibles, así como la necesidad de contar con métodos confiables para su evaluación. Por ello, en este estudio se evaluó la relación que existe entre la densidad del bosque, la distribución de los individuos, el área basal y la exposición de los sitios con la susceptibilidad de los bosques a ser infestados por especies del género *Dendroctonus*.

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar la estructura y composición de los bosques de *Pinus cembroides* de Aramberri, N.L. para correlacionarlas con la susceptibilidad de los bosques a las infestaciones de *Dendroctonus mexicanus*.

### **1.2. Objetivos particulares**

- a) Evaluar la composición de rodales de bosque de *P. cembroides* infestados y no infestados.
- b) Comparar variables dasométricas del bosque en áreas infestadas y no infestadas.
- c) Evaluar la estructura del bosque con la incidencia a infestaciones.

### **1.3. Hipótesis**

- Los bosques puros de *P. cembroides* son más susceptibles al ataque de *D. mexicanus*.
- Los bosques de *P. cembroides* con menores diámetros y menores alturas son más susceptibles al ataque de *D. mexicanus*.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. Descripción de los bosques de pino**

Los bosques de pino en el mundo son un bioma terrestre correspondiente a regiones templadas con veranos cálidos e inviernos fríos. Estructuralmente, son bosques simples, formados por dos capas: el dosel superior y el sotobosque. En algunos casos existe también una capa intermedia arbustiva. Normalmente, los bosques de pino albergan también un sotobosque herbáceo, que suele estar dominado por hierbas perennes, sujeto a incendios naturales ecológicamente importantes (Alton *et al.*, 2009).

Los bosques de coníferas más húmedos contienen la mayor cantidad de biomasa de todos los ecosistemas terrestres. Estos son una comunidad boscosa que viene a ser como una "transición" entre el bosque boreal y los bosques de hoja ancha de lugares más cálidos. Sin embargo, en estos bosques se encuentran muchas especies de coníferas, las cuales continúan en los bosques boreales más al norte (Duehl *et al.*, 2008).

Los veranos en los bosques templados son cálidos pero los inviernos son fríos y con frecuencia severos. Con el invierno aparece la nieve, especialmente en las latitudes más al norte; hacia el sur, disminuyen las cantidades de nieve. La estación de crecimiento dura unos seis meses y las lluvias se distribuyen uniformemente durante el año (Joshua *et al.*, 2007).

Algunas condiciones como la espesa cubierta forestal y los veranos suaves y húmedos permiten la acumulación de materiales orgánicos sobre el piso forestal. Eventualmente estos materiales se convertirán en humus, un material marrón o negro resultante de la descomposición de los materiales orgánicos y que constituye la porción orgánica del suelo (Joshua *et al.*, 2007).

Las coníferas no están limitadas a los bosques boreales, y hay muchos bosques en las regiones templadas más cálidas que son una mezcla de coníferas y otras



especies, incluso en los bosques templados más cálidos, las coníferas dominan debido a que ellas están adaptadas, además del frío, a hábitats secos. Las agujas de las coníferas no pierden tanta agua por evaporación como las hojas de las especies de hoja ancha; por lo tanto, las coníferas requieren mucho menos agua y pueden sobrevivir en suelos arenosos y secos (Joshua *et al.*, 2007).

La mayoría de las coníferas en estos bosques templados son pinos. Ellos tienen formas diferentes a las de las coníferas de los bosques boreales ya que no hay necesidad de crecer altos y con formas piramidales, para deshacerse de la nieve, en una región que es cálida la mayor parte del año, incluso en invierno. Los pinos también crecen en áreas que tienen suficiente humedad para que crezcan las hayas y otros árboles (Samuli *et al.*, 2007).

Los bosques se caracterizan por la predominancia de especies de afinidad templada hacia las partes más altas y desprotegidas, mientras que en las zonas de cañadas o áreas más protegidas se entremezclan con elementos típicamente tropicales (Rzedowski *et al.*, 1978).

## **2.2. Descripción de los bosques de pino en México**

Los bosques de coníferas templadas cubren el 13% de la superficie terrestre de México. La gran mayoría de estos bosques están compuestos de los árboles del género *Pinus*, el resto de *Pseudotsuga* y *Picea* (Rzedowski, 1978). México es una de las tres principales áreas del mundo con mayor diversidad de especies de *Pinus* (42 especies y 18 taxa infraespecíficos). Actualmente se considera que quedan aproximadamente 48.6 millones de hectáreas de bosque en México (31.2 millones de hectáreas de bosques de montañas, 2.4 millones de hectáreas de bosques lluviosos y 31.3 millones de hectáreas de bosques húmedos caducifolios) (World Resources Institute. 1995).

Los bosques de coníferas, tan frecuentes en las zonas de clima templado y frío del hemisferio boreal, también caracterizan muchos sectores del territorio de México, donde presentan amplia diversidad florística y ecológica. Se les encuentra

prácticamente desde el nivel del mar hasta el límite de la vegetación arbórea; prosperan en regiones de clima semiárido, semihúmedo y varias existen solo en condiciones edáficas especiales (Pérez y Singer, 1990). Si bien algunos parecen representar comunidades secundarias, que se mantienen como tales debido al disturbio causado por el hombre, otros corresponden a la fase clímax y al parecer han existido en México desde hace muchos millones de años.

La gran mayoría de los pinos mexicanos tienen una distribución geográfica restringida al territorio de este país y algunas áreas vecinas y casi todos constituyen elementos dominantes o co-dominantes en la vegetación actual (Pérez y Singer, 1990).

Por la morfología y la disposición de sus hojas, los pinos poseen una fisonomía particular y los bosques que forman presentan un aspecto que difícilmente puede confundirse con el de otros tipos de vegetación. Si bien el conjunto de los pinares establece una unidad fisonómica bien definida, no sucede exactamente lo mismo desde el punto de vista ecológico. Aunque la mayoría de las especies mexicanas de *Pinus* poseen afinidades hacia los climas templados a fríos y semihúmedos y hacia los suelos ácidos, existen notables diferencias entre una especie y otra y algunas que no se ajustan a estas normas prosperan en lugares francamente calientes, en lugares húmedos, en los semiáridos, así como sobre suelos alcalinos (Rzedowski *et al.*, 1978).

Por otra parte, dentro de las mismas zonas de clima templado y semihúmedo, los pinares no constituyen el único tipo de vegetación prevaleciente, pues compiten ahí con los bosques de encinos y a veces los de *Abies*, de *Juniperus*, de *Alnus* y con algunas otras comunidades vegetales. De hecho, la similitud de las exigencias ecológicas de los pinares y de los encinares da como resultado que los dos tipos de bosques ocupen nichos muy similares, que se desarrollan con frecuencia uno al lado del otro, formando intrincados mosaicos y complejas interrelaciones secuenciales y que a menudo se presentan en forma de bosques mixtos. En virtud de tales circunstancias, muchos autores (Rzedowski y McVaugh, 1966) optaron por

fundir en sus estudios a los bosques de *Pinus* y a los de *Quercus* en un solo tipo de vegetación a pesar de las significativas diferencias fisonómicas entre unos y otros.

Los bosques de coníferas han desaparecido en una superficie equivalente al 50% de su probable área original en México. Puede decirse que actualmente casi toda la extensión de bosques de coníferas del país tiene una fisonomía profundamente afectada por el fuego y en muchos casos el pastoreo y la explotación de madera, leña y carbón. De esta manera, podemos considerar que al contemplar uno de estos bosques no estamos en absoluto ante una comunidad prístina, por más hermosa que ésta parezca, sino ante un conjunto profundamente marcado por la acción humana (González *et al.*, 1998).

### **2.3. Descripción de los bosques de pino en Nuevo León**

En el estado de Nuevo León la distribución de estos bosques puede ocurrir en lugares templados y húmedos, con el factor térmico decreciente a medida que se asciende en altitud; se ubica a partir de 900 y 1,000 msnm. Se trata de una comunidad con árboles que se localizan en los municipios de Santa Catarina, Monterrey, San Pedro Garza García, Santiago, Montemorelos, Allende, Linares, Rayones, Iturbide, Galeana, Aramberri y Zaragoza; están asociados comúnmente con algunas especies de encinos (*Quercus* spp.) y madroño (*Arbutus xalapensis*) (Velazco *et al.*, 2008).

Las especies de pinos características son: pino ocote (*Pinus teocote*), pino blanco (*P. pseudostrobus*), pino real (*P. arizonica*), pino ayacahuite (*P. ayacahuite*), y pino negro (*P. hartwegii*). Podemos encontrar variantes de estos bosques como son los de pino piñonero (*P. cembroides*), que se localizan en los municipios de San Pedro Garza García, Santiago, Montemorelos, Rayones y Galeana (Velazco *et al.*, 2008).

Los bosques de pino encino representan un gran parte de la masa forestal en Nuevo León que se integra por especies de hoja ancha de agujas, sobre áreas templadas a subhúmedas en los municipios de Monterrey, Santiago, Allende, Montemorelos, Rayones, Iturbide, Linares, Aramberri, Zaragoza, García, San Pedro Garza García, Bustamante, Mina y Salinas Victoria.

A pesar de la amplia gama de condiciones climáticas en la región, la presencia de este tipo de bosque obedece más al factor térmico que a la humedad. Este bosque se presenta entre una altitud de 550 a 900 m. Dominan principalmente los encinos entre los que destacan el encino de asta (*Quercus rysophylla*), encino blanco (*Quercus laeta*), el encino roble (*Quercus polymorpha*) y el encino duraznillo (*Quercus canbyi*) y conviviendo con los encinos se encuentran el pino colorado (*Pinus teocote*) y el pino blanco (*Pinus pseudostrobus*) (Velazco *et al.*, 2008).

#### **2.4. Descripción de *Pinus cembroides***

Especie originaria de México, y se extiende al sur de los Estados Unidos. Árbol de 5 a 10 m, y hasta 15m de altura, con un diámetro de 30 cm y hasta 70 cm. Es de tronco corto y ramas ascendentes, delgadas y distribuidas irregularmente en el tallo. Es una especie monoica de lento crecimiento. En términos generales, el tiempo transcurrido entre la polinización, la maduración del cono y las semillas es de unos 30 a 36 meses.

Florece de marzo a abril. Los conos abren de noviembre a diciembre. El intervalo entre los periodos de producción de semilla varía de un sitio a otro. En sitios muy productivos puede ser de 2 a 3 años, en sitios muy poco productivos puede durar hasta 15 años.

Es una de las especies de pino de mayor distribución en México, forma masas puras en la Sierra Madre Oriental al norte del Trópico de Cáncer. Las mayores poblaciones están en: Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Hidalgo y Zacatecas. El rango aproximado de distribución altitudinal de esta especie va desde los 1300 hasta los 2700.

Se desarrolla en laderas de cerros y lomeríos, pendientes secas y rocosas, o al pie de las montañas. Se desarrolla en suelos pedregosos, calcáreos, con alto contenido de yeso, con textura de areno-arcillosa a migajón-arenosa, pH de 4 a 8 (de neutro a alcalinos). Porcentajes medios en el horizonte "A", y pobres en "B" (9).

Es una de las especies más resistentes a la sequía. Las condiciones que influyen sobre el crecimiento del piñonero y la producción de conos son: bajas temperaturas,

bajas concentraciones de calcio y magnesio, exposición suroeste y una mayor cobertura de la vegetación. Es una especie de alto potencial adaptativo, resistente a heladas, sequías y temperaturas elevadas. En los sitios donde crece la especie la humedad es baja y media en las laderas, y buena en los valles (CONAFOR, 2007).

## **2.5. Descripción del *Dendroctonus mexicanus* Hopkins**

Los adultos varían en tamaño de 2.3 a 4.5 mm de longitud, con promedio de 3.3 mm. La coloración es café muy oscuro, casi negro y brillante. La frente de la cabeza es convexa, con dos elevaciones separadas por un surco que baja por la parte media de la cabeza. En la parte media de estas elevaciones se encuentran tubérculos frontales, evidentes en los machos y poco o nada desarrollados en las hembras. Cada uno de los élitros presenta nueve estrías con puntuaciones bien marcadas, aunque poco profundas. En las interestrías existen pequeñas granulaciones elevadas que portan setas. El declive elitral es convexo, con las estrías fuertemente marcadas. Las setas del declive son de dos o más tamaños y son moderadamente abundantes; las setas sirven para diferenciar a esta especie de *D. frontalis*.

El huevecillo es ovalado, algo elíptico, de consistencia suave y lisa, blanco aperlado al principio y más cremoso al madurar; mide 1 mm de longitud. La larva presenta la cabeza bien esclerosada, con un aparato bucal fuerte, de tipo masticador; su cuerpo es cilíndrico, apodo de color blanco cremoso, con setas pequeñas casi no visibles. Los insectos pasan por cuatro instares larvarios. Las pupas son de tipo exorada, de color blanco cremoso en un principio para después pasar a café claro y luego a café más oscuro.

La infestación por estos insectos varía de acuerdo con el tamaño del árbol. Así, en árboles de más de 40 cm de diámetro, es común encontrar las primeras infestaciones a partir de 3 m de altura y las últimas en donde inicia la copa.

En cambio, en árboles de diámetro más pequeño, se pueden encontrar infestaciones desde la base del árbol hasta la punta del mismo y aún en el primer

metro de las ramas de la copa. Los diámetros mínimos en los que se han observado ataques son de 5cm.

A lo largo de la longitud infestada del árbol existen pocas variaciones en la densidad de ataque o en la supervivencia de los insectos, aunque en árboles con diámetros grandes hay mayor supervivencia de la progenie. En el interior de un árbol infestado es común encontrar varios estados de desarrollo, sobre todo en aquellos árboles que tienen su follaje verde amarillento o amarillento.

Las hembras pueden ovipositar durante varias semanas y los huevecillos puestos en un principio se desarrollan y dan lugar a larvas, mientras que en las partes más nuevas de la galería solo hay huevos.

Los árboles infestados varían en coloración de acuerdo con el tiempo que pasa desde que fueron infestados. Es de hacer notar que este es un patrón general y que de acuerdo a localidades y especies de hospedantes puede haber variaciones. Así, árboles de pino con hoja delgada y ubicados en altitudes bajas pueden mostrar cambios de coloración rápida y en algunos casos pérdida de follaje y aún tener la población de descortezadores en el interior. En pinos de hojas gruesas y ubicadas en altitudes elevadas, los insectos pueden madurar y salir del árbol antes de que éste tenga el follaje rojizo.

En una misma localidad puede haber variaciones en la relación color de follaje y estado de la población, debidas a la estación del año. En un principio puede haber sólo un árbol infestado y a partir de aquí desarrollarse un manchón, es decir un grupo de árboles atacados; la población de adultos emergentes de varias generaciones hace que se incremente el número de árboles que lo componen.

Como las poblaciones están sobrepuestas, el ataque a nuevos árboles se presenta de manera continua, aunque se puede reconocer que en algunas fechas el número de árboles recién infestados es mayor que en otras. De esta forma, en una infestación en la que han transcurrido varias generaciones se podrán encontrar árboles con diferentes tipos de coloración del follaje. Con mucha frecuencia es factible identificar uno o dos frentes de avance de la población del insecto, es decir,

se encuentran árboles grises sin follaje en el centro o en un lado del manchón y luego en forma consecutiva se encuentran árboles con follaje café grisáceo, café rojizo, rojizo, amarillento, verde amarillento y verde. El rumbo que sigue el frente aparentemente es al azar.

El tamaño que puede alcanzar una infestación o manchón depende de la disponibilidad de árboles susceptibles, de las condiciones climáticas y de la cantidad de enemigos naturales presentes; así los manchones pueden variar en tamaño desde 0.1 hasta 3 ha y sólo en casos excepcionales pueden cubrir superficies de hasta 10 ha. Los manchones se incrementan en tamaño durante tres o cuatro generaciones y excepcionalmente durante más tiempo, después de lo cual se colapsan en forma natural por la acción de los factores de mortalidad.

*Dendroctonus mexicanus* spp presenta varias generaciones por año. El tiempo de generación (de huevo a huevo) varía de acuerdo a la temperatura y condiciones de desarrollo, desde 42 hasta 125 días, por lo que puede haber de 3 a 5 generaciones por año. La variación en el número de ciclos por año depende de la altitud, en altitudes de 2300 a 2500 msnm se demostró la presencia de 4 generaciones por año. Los estados de desarrollo están sobrepuestos. En un ciclo de vida típico se presentan los siguientes eventos. Inicialmente las hembras son las que seleccionan a sus hospedantes, en los cuales practican orificios entre las placas de corteza hasta llegar al floema; si el árbol es vigoroso puede rechazarlas e incluso ahogarlas en la resina que expulsa como consecuencia de la horadación; si por el contrario no hay una defensa apropiada por parte del árbol, entonces dichas hembras inician la emisión de feromonas de agregación, que atraerá a machos y a hembras al árbol escogido. Una vez que las hembras lograron penetrar al floema, llegan a la zona de cambium e inician su alimentación; ellas liberan esporas de hongos manchadores del género *Ceratocystis* spp., que germinan de inmediato y producen hifas que se desarrollan con rapidez y crecen en el interior de la albura de la madera y en el floema. Los hongos producen un micelio que bloquea los conductos de resina y las traqueidas transportadores de agua. Su acción permite mejores condiciones de vida a los insectos, tanto adultos como estados juveniles. Al arribar los machos

y alcanzar a las hembras en el interior de las galerías, se produce la cópula y poco después la hembra inicia la oviposición, para lo cual avanza entre el cambium y el floema, ya sea hacia arriba o debajo del fuste del árbol. En una de las paredes laterales del sitio más avanzado de su galería y en el floema hace una muesca o nicho, en el que deposita un huevecillo, que después tapa con fragmentos del floema. El macho sigue a la hembra y junto con ella mantiene libre de residuos y excrementos una distancia de varios centímetros de longitud que permita el libre tránsito de ambos sexos.

Todo el material residual es compactado y empujado hacia las partes más viejas de la galería. A lo largo de dicha galería y conforme se va excavando se practican cavidades en el floema que permiten a los insectos dar vuelta dentro del túnel; algunas de estas cavidades se continúan hasta llegar a la superficie y sirven como orificios de aireación. A medida que la galería es más larga se hace más evidente su forma sinuosa, con los nichos de oviposición en las paredes de la misma, casi siempre dispuestos de forma alternada. La galería puede llegar a medir hasta 1.2 m de longitud. Una parte de la población de hembras fertilizadas puede salir del árbol infestado, volar hacia nuevos árboles, infestarlos exitosamente y continuar la oviposición en ellos.

Para salir de su galería las hembras practican orificios que miden alrededor de 1 mm de diámetro a través del floema y de las placas de corteza. Los huevecillos permanecen en los nichos de oviposición de 5 a 19 días. Al nacer, las larvas jóvenes se desplazan por túneles que ellas mismas practican.

En un principio estos túneles están ubicados en el floema que está en contacto con el cambium. Al pasar al segundo o tercer ínstar, las larvas se desplazan más por la parte interna del floema y es este tejido su única fuente de alimento. A partir del cuarto ínstar el desplazamiento de los individuos está marcadamente dirigido hacia la corteza externa, en donde excavan una cavidad oval para pasar al estado de pupa. Todo el estado larval requiere de 30 a 55 días para su desarrollo completo.

La mayor parte de la vida juvenil de *D. mexicanus* transcurre en el interior del floema y de la corteza externa, lo que implica que al descortezar un árbol infestado no se



observan los insectos, los cuales son evidentes sólo si se descubre el interior del floema. El estado de pupa se encuentra en las cavidades mencionadas, llamadas también cámaras de pupación. En el mismo lugar y después de transcurrir un tiempo que puede variar de 10 a 14 días, las pupas se transforman en adultos, que en un principio se transforman en adultos, que en un principio son de color café claro y conforme pasan los días se tornan más oscuros; a estos adultos se les llama preimagos, que significa que todavía requieren de un tiempo de maduración en el interior del árbol, que varía de 10 a 13 días. Los adultos que están en condiciones de salir pueden hacerlo, o esperar condiciones climáticas favorables para volar en busca de otros hospedantes (Cibrián *et al.* 1995).

Algunas especies de *Dendroctonus* en México se caracterizan por Polifagia, colonizando más de 20 especies de pino, mientras que otras aparecen para ser monófago (Salinas-Moreno *et al.*, 2004). El polífago especies difieren en la aparición relativa en sus huéspedes, lo que sugiere que ciertas especies de pinos son preferidas por especies de insectos, esta preferencia puede variar por área geográfica (Salinas-Moreno *et al.*, 2004). Alta polifagia y amplia distribución de acogida favorece la coexistencia geográfica de las especies de *Dendroctonus*. Como en otras partes, especies de escarabajo descortezadores secundarios (aquellas que inicialmente no colonizan susceptibles) siguen comúnmente especies de escarabajos primarios en México y es también una forma de producir una especie primaria en el mismo árbol con especies secundarias (Zúñiga y Vira-Galicia, 1995). Además de dentro de la partición de nichos de árboles, polifagia y la disponibilidad de anfitriones alternos pueden evitar los efectos perjudiciales de competencia en aquellas áreas de coexistencia geográfica (Macías-Sámano *et al.*, 2000).

La coexistencia geográfica de especies de *Dendroctonus spp.* sugiere una mayor vulnerabilidad a la mortalidad de los árboles en estas áreas. Asimismo, es probable que las zonas de alta diversidad de pino corran mayor riesgo de experimentando mortalidad por menos de uno, si no más de escarabajo de corteza. Especies en ausencia de los datos de atributos detallados que son necesarios para los sistemas locales de riesgo o de clasificación de riesgos modelos de predicción, información

sobre la aparición y simpatía en este sistema de insecto-huésped puede utilizar para identificar las regiones potencialmente más susceptibles al ataque del escarabajo descortezador.

## **2.6. Importancia económica de los escarabajos descortezadores**

En México los brotes epidémicos de los escarabajos descortezadores empezaron a evaluarse desde 1960. En la década de 1970 se establecen los primeros programas nacionales de control.

Los insectos más combatidos son los descortezadores, que son los organismos que más daños causan al arbolado en nuestro país. Actualmente estos insectos han aumentado sus poblaciones ocasionando el incremento de daños y pérdidas en diversas áreas de actividad forestal y de recreación a lo largo del país.

A la vez, se ha incrementado el estudio de estos con el fin de entender las relaciones ecológicas en el ambiente para proponer programas de control más efectivos (SEMARNAT, 2000).

El monitoreo que la SEMARNAT realiza en las zonas forestales del país muestra que en 2001 fueron afectadas 15, 219 hectáreas por algún tipo de plaga. La mayor parte de esta extensión fue afectada por descortezadores y muérdagos. Los estados con mayor proporción de superficie forestal afectada por enfermedades fueron Sinaloa, Aguascalientes, el Distrito Federal, Nuevo León y Zacatecas.

Por su distribución y sus daños, *Dendroctonus mexicanus* es uno de los descortezadores de pino de mayor importancia en México; su ataque representa un gran riesgo debido a que mata rápidamente a sus hospederos y por año presenta de 3 a 4 generaciones sobrepuestas.

El desarrollo de estos escarabajos en los pinos se presenta junto a un hongo simbiótico, que produce la mancha azul en la madera (*Ceratocystis minor*). Este hongo es introducido al xilema y floema por los insectos y es responsable de la

disminución de la conductividad de la savia, la principal causa de muerte del arbolado.

## **2.7. Características asociadas a la susceptibilidad del bosque**

Villa y Villa (1994) mencionan que cuando los tratamientos están basados en estrategias de supresión de las poblaciones del insecto es difícil lograr una reducción eficaz y permanente de la población mientras no se considere la reducción de la susceptibilidad de los bosques, ya que las condiciones ecológicas que manifiestan las diferentes masas de pino son el soporte de las poblaciones de insectos, ya sean endémicas o epidémicas.

Por ello se requiere identificar las características asociadas a la susceptibilidad de sitios al ataque de escarabajos descortezadores para facilitar la detección oportuna de áreas con brotes potenciales y aplicar medidas preventivas.

Se han desarrollado sistemas para dar un valor de susceptibilidad a insectos descortezadores en rodales de oyamel en las Montañas Rocallosas, tomando en cuenta la influencia de factores como la ubicación fisiográfica, calidad de sitio, edad relativa del rodal, composición florística del rodal, diámetro promedio, área basal, factores de la pendiente, elevación y crecimiento radial acumulado durante los últimos 5 años (Edmonds *et al.*, 2005).

Hay evidencia que sugiere que la edad del árbol y el estrés ambiental, como la sequía, afecta la respuesta del hospedero (Edmonds *et al.*, 2005).

Cetina (1985) estudió la estructura de un bosque de *P. cembroides* en San Luis Potosí, encontrando un rango de edad de 23 a 125 años, siendo el promedio de edad de  $66.5 \pm 18$  años. Menciona que, en 1977, Robert reportó edades de más de 200 años para este pino. Cetina asegura que se trata de un bosque joven, ya que árboles de 70 a 80 años presentan muy buen vigor y muestran un “repunte” (aumento en el crecimiento en altura, el cual es mayor que el crecimiento en diámetro). Este vigor existente en los árboles comprueba que la masa forestal está en una etapa en la que aún hay crecimiento ante estímulos del medio. En este

estudio se encontró también que esa masa forestal responde en aumento en el crecimiento ante la disminución de competencia.

Normalmente los brotes de descortezadores en el oeste de Canadá duran poco tiempo (de 3 a 5 años) y se desarrollan en bosques maduros y sobremaduros. Los brotes pueden desarrollarse en rodales incluso inmaduros y con baja densidad cuando éstos han sido sometidos a estrés por defoliación severa (Edmonds *et al.*, 2005).

En un estudio en el sur de Jalisco, Villa y Villa (1994) encontraron que las variables área basal total, área basal de pino y área basal de *Pinus leiophylla* resultaron significativamente estar asociadas a la susceptibilidad. Contrario a lo que podría pensarse, ni el fuego y ni el diámetro tuvieron significancia.

En 1999, Iñiguez desarrolló un modelo probabilístico para un bosque templado de Pinus-Quercus. En este modelo que incluyó a las variables índice de sitio, pendiente, exposición y área basal como las principales características que definen la probabilidad de infestación en sitios.

La susceptibilidad del rodal es un concepto que varía en el transcurso del tiempo. El otro factor determinante es el tamaño de la población disponible para atacar el rodal susceptible.

Doak (2004) investigó la relación entre los rasgos individuales de *Picea glauca*, como son la edad, el diámetro a la altura del pecho, y la tasa de crecimiento (incremento en el área basal) y la mortalidad de *Dendroctonus rufipennis*. También examinó los efectos de la densidad del rodal, de diámetro y de área basal en el porcentaje de mortalidad por medio de diagramas. La supervivencia fue más alta para árboles más jóvenes, más pequeños, y con mayor tasa de crecimiento. La mortalidad aumenta al aumentar el diámetro y al disminuir el área basal. Concluyó que los rasgos individuales de tamaño y tasa de crecimiento del hospedero, así como su interacción, son las mejores variables para predecir la susceptibilidad de *Picea glauca* a la mortalidad inducida por *Dendroctonus rufipennis*.

Negrón (1997) utilizó modelos para predecir probabilidades de infestación de *Dendroctonus adjunctus* en *Pinus ponderosa*, y mortalidad de árboles en términos de área basal con una clasificación de los árboles y un análisis de regresión lineal, en el Sacramento, Nuevo México. La clasificación de los árboles se hizo para los tipos de hábitat muestreados combinando tipos de hábitat. Se encontró que los rodales atacados por este escarabajo muestran crecimientos pobres durante los últimos 5 años anteriores al ataque, abundantes hospederos tipo y menores diámetros que los rodales no infestados. Los árboles atacados también mostraron reducidas tasas de crecimiento y menores diámetros que los árboles no atacados. La regresión lineal indica que el área basal inicial de *Pinus ponderosa* también es una buena variable para predecir la cantidad de área basal afectada.

## **2.8. Factores climáticos que regulan la población de escarabajos descortezadores**

La fluctuación de las poblaciones está influenciada por factores climáticos. La temperatura probablemente sea el factor abiótico de mayor influencia en la tasa de desarrollo de las distintas etapas.

En efecto, Flores (1977) determinó que las poblaciones de *D. mexicanus* en Monterrey, México, se redujeron en invierno, llegando a un nivel endémico. En su estudio concluye que *D. mexicanus* disminuye sus actividades de vuelo ante temperaturas bajas iguales o menores a 0 °C. De lo anterior se deriva que la temperatura mínima constituye un factor importante de la regulación de la fluctuación de las poblaciones.

Wagner *et al* (1984) también menciona que, de todos los factores ambientales, el que ejerce un efecto mayor sobre el desarrollo de los insectos es, probablemente, la temperatura. Ello es debido principalmente a su importante incidencia sobre los procesos bioquímicos, al ser organismos poiquilotermos, es decir, "de sangre fría". Por tanto, no es de extrañar que la idea de utilizar la temperatura y su influencia sobre el tiempo de desarrollo como instrumento de predicción, haya sido ampliamente utilizada.

## **2.9. Importancia ecológica de los descortezadores**

Eisenhart *et al.*, (2000) utilizó métodos dendrocronológicos para examinar la extensión regional y la sincronía de brotes de *Dendroctonus rufipennis* y estudió la influencia de las infestaciones de este descortezador en la estructura de los bosques subalpinos en Colorado. Se identificaron brotes regionales ocurridos en 1716-1750, 1827-1845, 1860-1870, y 1940-1960. Estos resultados respaldan descubrimientos anteriores que dicen que los brotes a gran escala de *Dendroctonus rufipennis* han sido durante mucho tiempo un componente importante en la dinámica de los bosques subalpinos en Colorado.

Parish *et al.*, (1999) estudió los regímenes de disturbio a través de las áreas subalpinas de Norteamérica donde se distribuyen extensos bosques de *Picea engelmannii* y *Abies lasiocarpa*.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Localización y descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el ejido “Las Joyas y Anteojitos” el cual se ubica dentro del municipio de Aramberri, Nuevo León, México (Figura 1). Los sitios de muestreo se encuentran dentro de las siguientes coordenadas; Latitudes 24° 12' N y longitudes 99° 54' O.

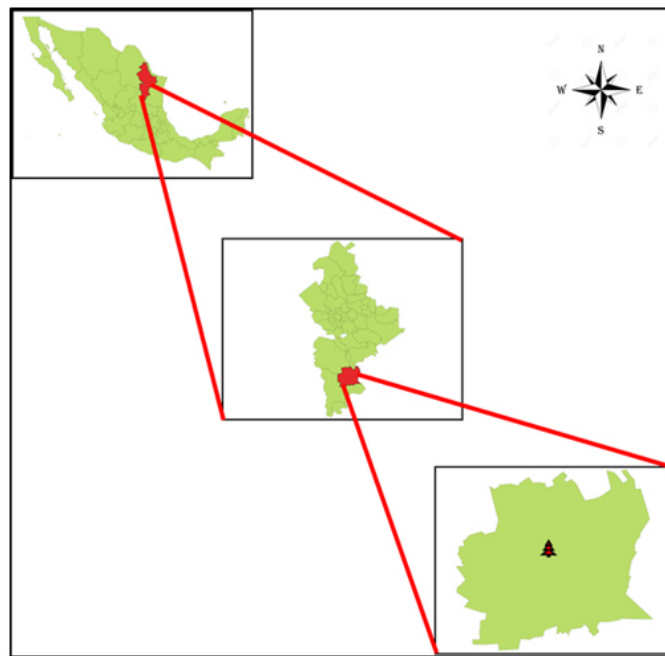


Figura 1 Ubicación del área de estudio en el municipio de Aramberri, Nuevo León.

#### 3.2. Topografía

El tipo de rocas que predominan son de origen sedimentario, principalmente rocas calizas y las lutitas.

El área de estudio se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental la cual corre desde sus límites con la del Eje Neovolcánico en sentido paralelo a la costa del Golfo de México.

La Sierra Madre Oriental es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados. A su vez, el área se localiza en la subprovincia Gran Sierra Plegada, en la que dominan las capas plegadas de roca caliza.

La topografía del terreno es muy irregular. El gradiente altitudinal es de 500 m hasta los 2500 m. La pendiente del terreno varía desde un 10% hasta un 80%. Los sitios en que se realizaron los muestreos se encuentran entre los 500 y los 2500 msnm.

### **3.3. Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por García, en el área se presentan climas templados de tipo sub-húmedos con lluvias en verano C (W1).

Considerando los datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua de la estación meteorológica de San Juanito de Reséndiz, la precipitación media anual es de 525 mm. La precipitación tiene su mayor incidencia en septiembre, con una precipitación promedio de 110 mm. La menor precipitación se presenta en los meses de febrero y noviembre, con un promedio de 11 y 12 mm respectivamente. La temperatura media anual es de 14.9° C. El periodo más cálido se presenta en los meses de mayo y junio, con temperaturas medias de 18.3 y 18.2 °C y temperaturas máximas de 38 y 36 °C. Los meses más fríos son diciembre y enero con temperaturas medias de 10.9 y 10.8 °C, presentando temperaturas mínimas extremas de hasta -10 y -8 °C.

#### **3.3.1. Temperatura**

Se presenta un máximo térmico coincidente con la posición del sol durante el verano. Esto significa que existe un almacenamiento creciente de energía desde la estación de invierno. En los meses de diciembre y enero se presentan las menores temperaturas en el área. El máximo térmico y de radiación solar se presenta en el mes de julio. A partir de julio, la temperatura queda sujeta a modificaciones provocadas por la invasión de masas de aire más frío y húmedo, de manera que los descensos térmicos son de alrededor de 3 °C hacia el mes de septiembre.



En octubre y noviembre, se inicia la penetración de las masas frías del norte, que incrementan el enfriamiento normal del suelo, por lo que en diciembre y enero se alcanzan los mínimos térmicos entre los 13 y 15 °C en la mayoría de las estaciones meteorológicas.

### **3.3.2. Precipitación**

La parte norte de la república es una zona de lluvias escasas donde la aridez responde a la situación geográfica respecto a la faja subtropical de alta presión. Los diagramas ombrotérmicos señalan que casi toda el área tiene mayor influencia de las lluvias estacionales de verano, donde las precipitaciones originan fuertes chubascos de tipo convectivo y sólo hacia el sur y suroeste, las lluvias presentes son de tipo orográfico por lo que también son abundantes.

Al activarse la circulación ciclónica en septiembre, se vuelve a sentir en el área la influencia de masas de aire húmedo que tienen cada vez mayor importancia como productoras de lluvia en la región.

### **3.4. Suelo**

En la parte de topografía accidentada predominan los suelos de tipo Litosol y Regosol con textura media. La capa superficial del suelo varía en profundidad de 0 a 15 cm y presenta textura fina (arcillosa). En algunas áreas se presentan afloramientos de roca madre. En el núcleo de población y sus alrededores predominan los suelos de tipo Luvisol crómico y cálcico con textura fina.

### **3.5. Vegetación**

En el área de estudio predomina el bosque de pino. Este bosque posee un estrato arbóreo de hasta 20 m., mostrando un estrato medio poco conspicuo o ausente. Las especies arbóreas que predominan son: *Pinus cembroides* (Pino piñonero) y *Quercus sp.* (Encino). El bosque puede considerarse puro, ya que presenta una pureza de un 70% a un 100% de *Pinus cembroides*. Las especies arbustivas que predominan son: *Yucca samandoca* (Palma), *Rhus virens* (Lantrisco), *Gognatia hipoleuca* (Ocotillo), *Juniperus monosperma* (Enebro), *Sephora secundiflora* (Colorín) *Arctostaphylos pungens* (Manzanita o Pingüica) y *Arbutus xalapensis*

(Madroño). El estrato bajo es dominado por gramíneas, herbáceas y especies rosetáceas como *Agave lechuguilla* (Lechuguilla), *Agave striata* (Maguey) y *Dasyilirion sp.* (Sotol).

En algunos claros se presenta vegetación abierta del tipo matorral desértico rosetófilo, en el que predominan las especies arbustivas y rosetófilas mencionadas anteriormente, pero sin el estrato arbóreo.

### 3.6. Métodos

#### 3.6.1. Sitios de muestro

Para seleccionar los sitios de muestreo se realizó una estratificación del bosque sobre el área de estudio previamente delimitada, diferenciando áreas infestadas de no infestadas y tomando en cuenta su exposición. Se realizó un rodalización del área de estudio considerando la pendiente y la pureza de los bosques, posteriormente se clasificaron los rodales de acuerdo a su nivel de infestación. Los sitios se trazaron de forma circular con un radio de 12.62 m, dando como superficie 500 m<sup>2</sup> por cada sitio. Se obtuvieron datos de un total de 16 sitios (Figura 2).

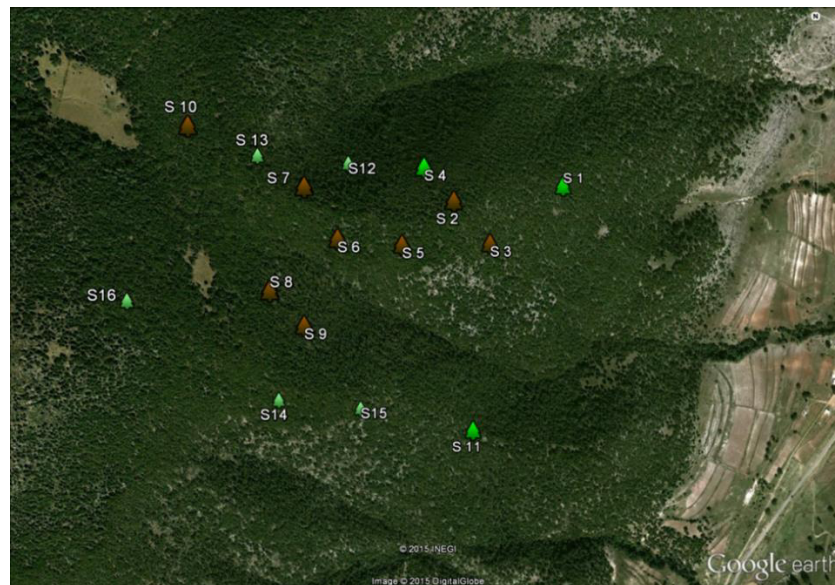


Figura 2. Imagen Satelital de los sitios de muestro (Google earth, 2004)

En cada uno de los sitios se tomó el árbol central y con base en este se tomó el azimut de todos los árboles mayores a 10 cm de diámetro, de tal manera que se pudiera obtener la posición de los árboles dentro del rodal. Después se tomaron datos de las características particulares de cada sitio como: coordenadas geográficas, fisiografía, pendiente, exposición, pedregosidad y presencia de disturbios.

Las variables dasométricas que se evaluaron para cada árbol mayor a 10 cm de diámetro fueron: especie, diámetro a 1.3 m, altura, diámetro de copa, altura de fuste limpio, etapa de infestación (inicial con grumos de resina frescos, media con grumos de resina endurecidos o final con orificios de salida), clasificación de Kraft (dominante, codominante, medios y suprimidos).

Para ayudar en la caracterización de los sitios se tomaron variables de sitio como: pendiente, porcentaje de pedregosidad, evidencias de pastoreo y el porcentaje de plantas epífitas en cada árbol.

Para comprobar la presencia de *Dendroctonus mexicanus* se colectaron especímenes que se encontraron dentro de las galerías.

### **3.6.2. Análisis estadístico**

Se realizó un análisis estadístico para comparar las medias de las áreas muestreadas. Para el análisis se separaron las variables de las áreas no infestadas de las áreas infestadas.

Se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon la cual es usada para hacer pruebas de hipótesis considerando la mediana. La prueba estadística se basa en el estadístico de Wilcoxon (1945), el cual se calcula de la siguiente manera: Se resta de cada dato el valor de la mediana que se considera en la hipótesis nula. Se calcula los rangos de las diferencias sin tomar en cuenta el signo de las mismas (o sea en valor absoluto). En el caso de haber empate se asigna un rango promedio a todas las diferencias empatadas es decir; se les asigna el rango: (menor rango del grupo del empate + mayor rango del grupo del empate)/2

El estadístico W de Wilcoxon será la suma de los rangos correspondientes a las diferencias positivas.

Estos contrastes permiten comprobar si hay diferencias entre las distribuciones de dos poblaciones a partir de dos muestras dependientes o relacionadas; es decir, tales que cada elemento de una muestra está emparejado con un elemento de la otra, de tal forma que los componentes de cada pareja se parezcan entre sí lo más posible por lo que hace referencia a un conjunto de características que se consideran relevantes. También es posible que cada elemento de una muestra actúe como su propio control.

Cuando se trata de variables medibles en por lo menos una escala ordinal y pueden suponerse poblaciones continuas la prueba no paramétrica más potente es la de Wilcoxon.

La hipótesis nula del contraste postula que las muestras proceden de poblaciones con la misma distribución de probabilidad; la hipótesis alternativa establece que hay diferencias respecto a la tendencia central de las poblaciones y puede ser direccional o no.

El contraste se basa en el comportamiento de las diferencias entre las puntuaciones de los elementos de cada par asociado, teniendo en cuenta no sólo el signo, sino también la magnitud de la diferencia.

Sea  $d_i = x_i - y_i$  la diferencia entre las puntuaciones de la pareja  $i$ -ésima; si alguna de estas diferencias es nula la pareja correspondiente se elimina del análisis, de forma que el tamaño de la muestra es  $n$ , el número de diferencias no nulas.

A continuación, se asignan rangos desde 1 hasta  $n$  atendiendo únicamente al valor absoluto de las  $d_i$  y se suman los rangos correspondientes a las diferencias positivas y a las diferencias negativas por separado. Si la hipótesis nula es cierta,  $X$  e  $Y$  tienen el mismo valor central y es de esperar que los rangos se distribuyan aleatoriamente entre las diferencias positivas y negativas y, por tanto, que ambas sumas de rangos sean aproximadamente iguales.

El estadístico de prueba,  $T$ , es la menor de las dos sumas de rangos. Cuando  $n > 15$  la distribución muestral de  $T$  bajo el supuesto de que  $H_0$  es cierta se aproxima a una normal de parámetros:

$$\mu_T = \frac{n(n+1)}{4} \quad \sigma_T^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{24}$$

El estadístico de prueba es el valor  $Z$ :

$$Z = \frac{T - \mu_T}{\sigma_T} \text{ que se distribuye según una normal tipificada.}$$

Para el nivel de significación deseado se rechazará la hipótesis nula si  $Z$  pertenece a la región crítica localizada en las dos colas o en una cola de la normal tipificada, según la naturaleza de la hipótesis alternativa.

A partir de los resultados presentados por la prueba Wilcoxon se utilizaron las variables que una mejor capacidad estadística predictiva presentaron para ser utilizado en el método de CART.

### **3.6.3. Análisis de Árboles de Regresión y Clasificación (CART)**

Se utilizó el análisis de Arboles de Regresión y Clasificación, en adelante CART (de sus siglas en inglés, Classification and Regression Trees), propuesta por Breiman (*et al.*, 1984), debido a su gran capacidad predictiva comparada con otros métodos.

(Breiman *et al.*, 1984), desarrolló el algoritmo CART cuyo resultado es en general, un árbol de decisión, las ramas representan conjuntos de decisiones y cada decisión genera reglas sucesivas para continuar la clasificación (partición) formando así grupos homogéneos respecto a la variable que se desea discriminar. Las particiones se hacen en forma recursiva hasta que se alcanza un criterio de parada, el método utiliza datos históricos para construir el árbol de decisión, y este árbol se usa para clasificar nuevos datos.

CART es un método no-paramétrico de segmentación binaria donde el árbol es construido dividiendo repetidamente los datos. En cada división los datos son partidos en dos grupos mutuamente excluyentes. El nodo inicial es llamado nodo raíz o grupo madre y se divide en dos grupos hijos o nodos, luego el procedimiento de partición es aplicado a cada grupo hijo por separado. Las divisiones se seleccionan de modo que “la impureza” de los hijos sea menor que la del grupo madre y estas están definidas por un valor de una variable explicativa (Deconinck y Kurtz, 2006).

El objetivo es patrocinar la respuesta en grupos homogéneos y a la vez mantener el árbol razonablemente pequeño.

Para dividir los datos se requiere un criterio de particionamiento el cual determinará la medida de impureza, esta última establecerá el grado de homogeneidad entre los grupos.

El análisis de árboles de clasificación y regresión (CART) generalmente consiste en tres pasos (Timofeev, 2004):

- A. Construcción del árbol máximo.
- B. Poda del árbol.
- C. Selección del árbol óptimo mediante un procedimiento de validación cruzada (“cross-validation”).

#### A) Construcción del árbol máximo

El árbol máximo es construido utilizando un procedimiento de partición binario, comenzando en la raíz del árbol, este árbol es un modelo que describe el conjunto de entrenamiento (grupo de datos original) y generalmente es sobre ajustado, es decir, contiene gran cantidad de niveles y nodos que no producen una mejor clasificación y puede ser demasiado complejo.

Cada grupo es caracterizado por la distribución (respuesta categórica), o por la media (respuesta numérica) de la variable respuesta, el tamaño del grupo y los

valores de las variables explicativas que lo definen. Gráficamente, el árbol se representa con el nodo raíz (los datos sin ninguna división), al iniciar y las ramas y hojas debajo (cada hoja es el final de un grupo).

#### Calidad del Nodo (Función de Impureza)

La función de impureza es una medida que permite determinar la calidad de un nodo, esta será denotada por  $i(t)$ . Existen varias medidas de impureza (criterios de particionamiento) que nos permiten analizar varios tipos de respuesta, las tres medidas más comunes presentadas por (Breiman *et al.*, 1984), para árboles de clasificación son:

El índice de información o entropía el cual se define como:

$$i(t) = \sum_j p(j|t) \ln p(j|t)$$

El objetivo es encontrar la partición que maximice  $\Delta i(t)$  en la ecuación

$$\Delta i(t) = - \sum_{j=1}^k p(j|t) \ln p(j|t),$$

Donde  $j = 1, \dots, k$  es el número de clases de la variable respuesta categórica y  $p(j|t)$  la probabilidad de clasificación correcta para la clase  $j$  en el nodo  $t$ .

El índice Gini tiene la forma

$$i(t) = \sum_{i \neq j} p(j|t) p(i|t)$$

Encontrar la partición que maximice  $\Delta i(t)$  en 1.7

$$\Delta i = - \sum_{j=1}^k [p_j(t)]^2,$$

Este índice es el más utilizado. En cada división el índice Gini tiende a separar la categoría más grande en un grupo aparte, mientras que el índice de información tiende a formar grupos con más de una categoría en las primeras decisiones.

Por último, el índice “Towing”. A diferencia del índice Gini, Towing busca las dos clases que juntas formen más del 50 % de los datos, esto define dos “súper categorías” en cada división para las cuales la impureza es definida por el índice Gini. Aunque el índice towing produce arboles más balanceados, este algoritmo trabaja más lento que la regla de Gini (Deconinck y Kurts, 2006). Para usar el índice towing se selecciona la partición que maximice.

$$\frac{p_L p_R}{4} \left[ \sum_j |p(j|t_L) - p(j|t_R)| \right]^2,$$

Donde  $t_L$  y  $t_R$  representan los nodos hijos izquierdo y derecho respectivamente,  $p_L$  y  $p_R$  representan la proporción de observaciones en  $t$  que pasaron a  $t_L$  y a  $t_R$  en cada caso.

## B) Poda del árbol

El árbol obtenido es generalmente sobreajustado por tanto es podado, cortando sucesivamente ramas o nodos terminales hasta encontrar el tamaño “adecuado” del árbol. (Breiman *et al.*, 1984) introducen algunas ideas básicas para resolver el problema de seleccionar el mejor árbol. Computacionalmente el procedimiento descrito es complejo. Una forma es buscar una serie de árboles anidados de tamaños decrecientes (Déath & Fabricius, 2000), cada uno de los cuales es el mejor de todos los árboles de su tamaño.



Estos árboles pequeños son comparados para determinar el óptimo. Esta comparación está basada en una función de costo complejidad,  $R_\alpha(T)$ .

Para cada árbol  $T$ , la función costo - complejidad se define como (Deconinck *et al.*, 2006):

$$R_\alpha(T) = R(T) + \alpha|\tilde{T}|$$

Donde  $R(T)$  es el promedio de la suma de cuadrados entre los nodos, puede ser la tasa de mala clasificación total o la suma de cuadrados de residual total dependiendo del tipo de árbol,  $|\tilde{T}|$  es la complejidad del árbol, definida como el número total de nodos del sub-árbol y  $\alpha$  es el parámetro de complejidad.

El parámetro  $\alpha$  es un número real mayor o igual a cero, Cuando  $\alpha = 0$  se tiene el árbol más grande y a medida que  $\alpha$  se incrementa, se reduce el tamaño del árbol.

La función  $R_\alpha(T)$  siempre será minimizada por el árbol más grande, por tanto, se necesitan mejores estimaciones del error, para esto (Breiman *et al.*, 1984) proponen obtener estimadores “honestos” del error por “validación cruzada”. Computacionalmente el procedimiento es exigente pero viable, pues solo es necesario considerar un árbol de cada tamaño, es decir, los árboles de la secuencia anidada.

### C) Selección del árbol óptimo

De la secuencia de árboles anidados es necesario seleccionar el árbol óptimo y para esto no es efectivo utilizar comparación o penalización de la complejidad (Déath & Fabricius, 2000), por lo tanto, se requiere estimar con precisión el error de predicción y en general esta estimación se hace utilizando un procedimiento de validación cruzada.

El objetivo es encontrar la proporción óptima entre la tasa de mala clasificación y la complejidad del árbol, siendo la tasa de mala clasificación el cociente entre las observaciones mal clasificadas y el número total de observaciones.

Si se cuenta con suficientes datos se parte la muestra, sacando la mitad o menos de los datos y se construye la secuencia de árboles utilizando los datos que permanecen, luego predecir, para cada árbol, la respuesta de los datos que se sacaron al iniciar el proceso; obtener el error de las predicciones; seleccionar el árbol con el menor error de predicción.

En general no se cuenta con suficientes datos como para utilizar el procedimiento anterior, de modo que otra forma sería:

Validación cruzada con partición en V, (v-fold cross validation, se menciona más adelante).

La idea básica de la “Validación cruzada” es sacar de la muestra de aprendizaje una muestra de prueba, con los datos de la muestra de aprendizaje se calculan los estimadores y el subconjunto sacado es usado para verificar el desempeño de los estimadores obtenidos utilizándolos como “datos nuevos”. El desempeño entendido como el error de predicción, es acumulado para obtener el error medio absoluto del conjunto de prueba.

Como se mencionó anteriormente, para la metodología CART generalmente se utiliza Validación Cruzada con partición en V (v-fold cross validation), tomando  $V = 10$  y el procedimiento es el siguiente:

Dividir la muestra en diez grupos mutuamente excluyentes y de aproximadamente igual tamaño.

Sacar un conjunto por vez y construir el árbol con los datos de los grupos restantes. El árbol es usado para predecir la respuesta del conjunto eliminado.

Calcular el error estimado para cada subconjunto.

Repetir los “ítems” dos y tres para cada tamaño de árbol.

Seleccionar el árbol con la menor tasa de mala clasificación.

Al llegar a este punto se procede a analizar el árbol obtenido.

Una vez seleccionadas las variables con las que se va a trabajar se procedió a realizar el análisis de probabilidad con el método de CART para la generación de árboles de clasificación con las variables que presentaron mayor capacidad de predecir la probabilidad de infestación según la prueba de Wilcoxon.

En muchas áreas de aplicación de la estadística los individuos (unidades de observación) están caracterizados por información sobre múltiples características cuantitativas y/o cualitativas que conforman el PERFIL del caso: por otra parte, tenemos una RESPUESTA (resultado, output) individual, en algunos casos cuantitativa, en otros cualitativa.

Suele ocurrir que los valores más interesantes de esa respuesta se observan en individuos, en algún sentido, peculiares; identificar los perfiles o vectores que describen a esos individuos es de interés central, pero la búsqueda para hallarlos no es simplemente lineal sino más bien es comparable a una trayectoria de divisiones sucesivas: una estructura arbórea. Los modelos subyacentes no son tan simples como un modelo de regresión lineal múltiple.

Esta metodología es intensiva en el uso de recurso computacional y requiere software. Para este estudio se utilizó el programa Statistica de Dell.

Los modelos basados en árboles de regresión y/o clasificación constituyen una alternativa a los modelos lineales para los problemas de regresión y para modelos logísticos en problemas de clasificación. Estos modelos están pensados para captar comportamientos lineales y no lineales; los modelos lineales estándar no permiten correlaciones entre variables, mientras que los algoritmos CART si las permiten. Además,  $p$  (número de variables) puede ser mayor a  $n$  (el número de casos). En ciertas aplicaciones, especialmente cuando el grupo de predictores contiene una mezcla de variables numéricas y factores altamente correlacionadas, los modelos basados en árboles son más fáciles para interpretar y discutir que los modelos lineales. Se denominan modelos de árbol porque el método original de presentar los resultados es en forma de árbol binario (cada nodo se bifurca en dos ramas). Cuando la variable dependiente es continua se conforman árboles de regresión y cuando es de clasificación se generan árboles de clasificación. Un árbol de

regresión o de clasificación es un conjunto de reglas determinadas por un procedimiento de ajuste por particiones binarias recursivas, donde un conjunto de datos es sucesivamente particionado.

Inicialmente todos los objetos son considerados como pertenecientes al mismo grupo. El grupo se separa en dos subgrupos a partir de una de las variables regresaras de manera tal que la heterogeneidad, a nivel de la variable dependiente, sea mínima de acuerdo a la medida de heterogeneidad seleccionada.

Los dos subgrupos (nodos) formados se separarán nuevamente si: 1) hay suficiente heterogeneidad para producir una partición de observaciones y/o 2) el tamaño del nodo es superior al mínimo establecido para continuar el algoritmo. El proceso se detiene cuando no se cumple una de estas condiciones. En cada instancia de separación el algoritmo analiza todas las variables regresoras y selecciona, para realizar la partición, aquella que permite conformar grupos más homogéneos dentro y más heterogéneos entre ellos.

La medida de heterogeneidad dentro de los nodos (H) determina si el árbol será un árbol de clasificación o uno de regresión. Los primeros se usan cuando la variable dependiente que se quiere predecir es categorizada (sus valores son clases) y los segundos cuando la variable dependiente es una variable continua. Para los árboles de clasificación, una forma de calcular H es a través de la desviación, estadístico que mide la heterogeneidad de las proporciones de las distintas clases en un grupo. Para construir un árbol de regresión la medida de heterogeneidad más usada es la suma de cuadrados dentro de grupo. Los árboles de regresión son una técnica de análisis discriminante no paramétrica que permite predecir la asignación de muestras a grupos predefinidos en función de una serie de variables predictoras. Es decir, que teniendo una variable respuesta categórica, los árboles de regresión nos van a permitir crear una serie de reglas basadas en variables predictoras que nos van a permitir asignar una nueva observación a un grupo u a otro. Es una técnica discriminante porque permite "discriminar" entre grupos. Más importante que la interpretación de la relación entre la variable dependiente y las variables predictoras, es aquí la capacidad predictiva del modelo que generemos.

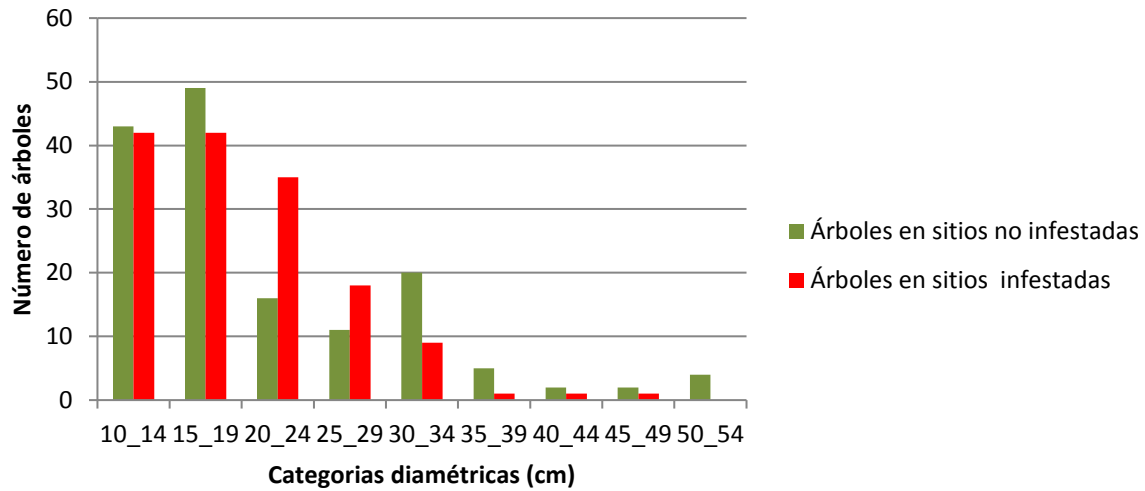
## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se analizaron las variables dasométricas y de sitio de 8 sitios infestados y 8 sitios no infestados por *Dendroctonus mexicanus* en bosques de *Pinus cembroides* en el sur del estado de Nuevo León.

Con estos análisis se han generado modelos para predecir posibles infestaciones; tal como se han realizado en Canadá, Estados Unidos y varios países de Europa (Robertson *et al.*, 2008). La mayoría de los modelos se basan en las condiciones del sitio y las características biológicas y ecológicas de los escarabajos descortezadores (Beukema *et al.*, 1997). En el presente estudio se realizó un análisis de probabilidad de Cart para las variables que mayor capacidad predictiva presentaron.

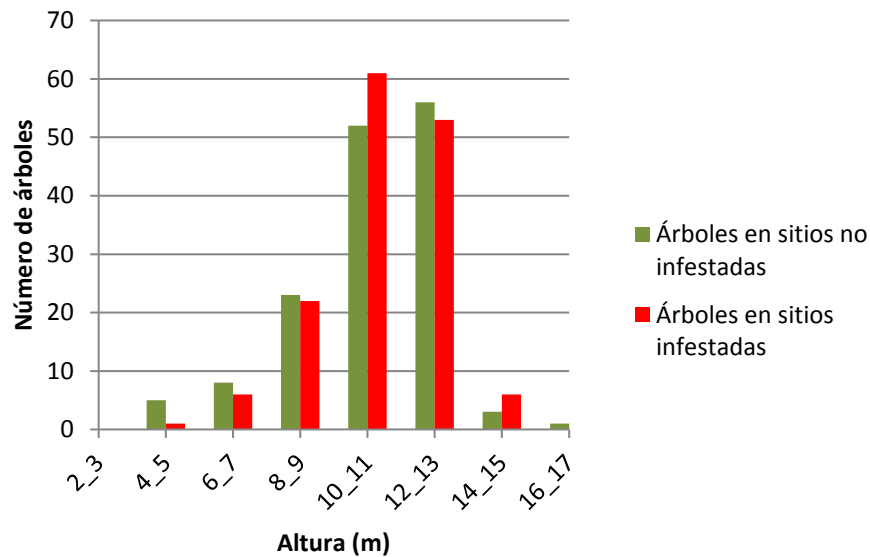
### **4.1. Estructura de los sitios infestados y no infestados**

La estructura y composición de los bosques suelen ser el resultado de disturbios anteriores tales como incendios, aclareos o epidemias provocadas por el aumento poblacional de escarabajos descortezadores (De Rose y Long, 2012). En el área de estudio se encontró que tanto en los sitios infestados como los no infestados el 50% de los árboles tienen diámetros entre los 10 y los 19 cm (Gráfica 1). Esta distribución de diámetro podría considerarse inferior a lo que establece CONABIO (2008) como normal para rodales de *P. cembroides* (30 cm). El hecho de que la mayoría de los árboles se encuentren en las categorías diamétricas bajas indica una alta densidad de árboles (Schowalter y Turchin, 1993).

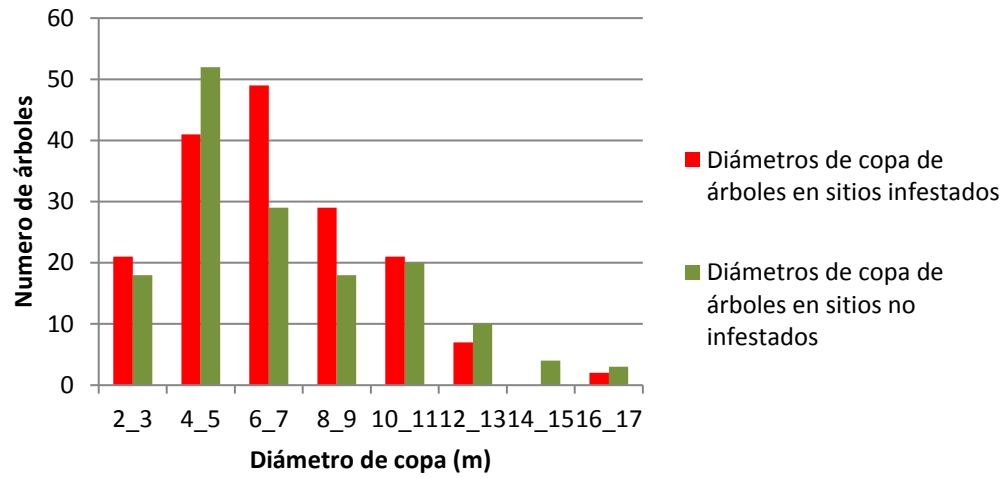


Grafica 1.- Categorías diamétricas de árboles en sitios infestados y no infestados por *D. mexicanus* en el ejido Las Joyas y Antejitos, Aramberri, N.L.

En cuanto a la altura (Gráfica 2), el 60% de los árboles tanto en rodales sanos como infestados tienen alturas que van de los 10 hasta los 13 m, lo cual es considerado como una altura normal para este tipo de bosques (CONABIO, 2008). El diámetro de copa de sitios infestados y sanos es de entre 4 y 7m (Gráfica 3).



Grafica 2. Alturas de los árboles en los sitios infestados y no infestados en el ejido Las Joyas y Antejitos, Aramberri, N.L.



Grafica 3. Diámetro de copa de los árboles infestados y no infestados por *D. mexicanus* en el ejido Las Joyas y Anteojitos, Aramberri, N.L.

## 4.2. Análisis de las variables dasométricas

Debido a que los datos no presentaron una distribución normal, fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon. En la Tabla 1 se presentan el promedio y el error estándar de cada una de las variables tanto para sitios infestados como no infestados.

Tabla 1. Media y error estándar (en paréntesis) de las variables dasométricas de sitios infestados y no infestados en el Ejido Las Joyas y Antejitos, Aramberri, N.L.

Variable (Error estándar)	Total	No infestado	Infestado
Número total de árboles /ha	405(22)	385(27)	425(36)
Número de <i>Pinus cembroides</i> /ha	377(24)	380(29)	375 (41)
Diámetro normal del total de árboles (cm)	20.3(0.63)	21.14 (0.81)	19.48 (0.92)
Diámetro normal de <i>P. cembroides</i> (cm)	20.86 (0.60)	21.30 (0.81)	20.43 (0.92)
Altura del total de los árboles (m)	10.51(0.20)	10.60 (0.25)	10.41 (0.32)
Altura de <i>P. cembroides</i> (m)	10.82 (0.17)	10.70(0.27)	10.95(0.17)
Área basal total (m <sup>2</sup> /ha)	15.28(1.03)	16.16(1.61)	14.41(1.34)
Área basal de <i>P. cembroides</i> (m <sup>2</sup> /ha)	14.73(1.03)	16.12(1.61)	13.34(1.18)
Diámetro medio cuadrático total (cm)	22.06(0.77)	23.10(1.10)	21.03(1)
Diámetro medio cuadrático <i>P. cembroides</i> (cm)	22.3(0.76)	23.23(1.08)	21.38(1.03)
Índice de densidad relativa IDR (A/ha)	329.01(19.53)	337.73(28.66)	320.30(28.15)
Índice de densidad relativa IDR de <i>P. cembroides</i> (p.c/ha)	310.14(19.78)	336.08(29.26)	284.21(25.07)
Diámetro de copa total (m)	7.45(0.29)	7.53(0.40)	7.37(0.46)
Diámetro de copa de <i>P. cembroides</i> (m)	7.47(0.33)	7.61(0.46)	7.34(0.49)
Porcentaje de epífitas	26% (.21)	25%(.20)	26% (.25)
Porcentaje de pureza del sitio	92% (.17)	98% (.18)	86% (.16)

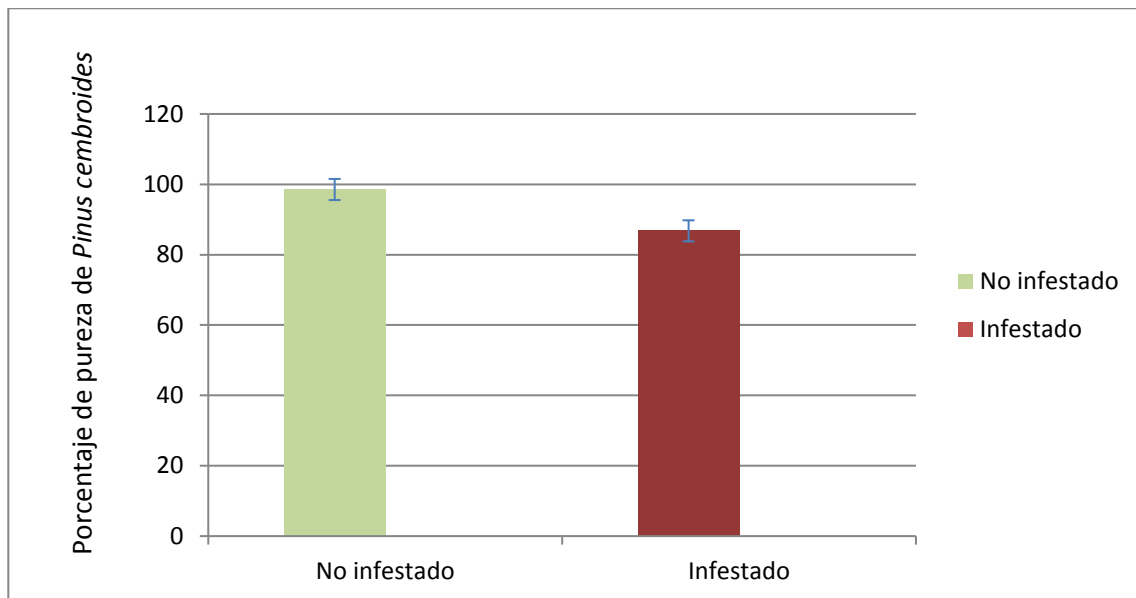
Mediante el análisis no paramétrico de árboles de regresión y clasificación (CART), se obtuvieron respuestas de grupos homogéneos mediante el particionamiento. Los grupos obtenidos fueron: el porcentaje de pureza del bosque con respecto a *P. cembroides* (con 95% de efectividad), el diámetro medio cuadrático de *P. cembroides* (con un 87%) y el diámetro promedio normal (con un 81%).

### 4.2.1. Análisis de la composición del bosque



Los bosques con menos diversidad de especies vegetales (98% de *P. cembroides*) tienen un 87.5% de probabilidad de ser atacados por *D. mexicanus* comparado con tan solo el 12.5% para los bosques con mayor diversidad de especies o porcentajes de pureza menores al 98%. Esta probabilidad estará además influenciada por factores de estrés y de manejo del bosque que podrían incrementar la probabilidad de ataque al debilitar a los árboles debilitados (Cibrián *et al.*, 1995, SEMARNAT, 2000).

La media y desviación estándar de los sitios muestreados fue de  $97 \pm \text{SD} \%$  para los infestados y de  $87 \pm \text{SD} \%$  para los no infestados (Gráfica 4).



Gráfica 4. Porcentaje de pureza de sitios infestados y no infestados en el Ejido Las Joyas y Anteojitos en el municipio de Aramberri, N.L.

A mayor diversidad de especies arbóreas existen menores probabilidades de ataque de los sitios esto fue reportado por (Belanger y Malac 1980) Por otro lado, (Hicks *et al.*, 1980) sugiere que la competencia de los pinos con especies de madera dura provoca una mayor predisposición al ataque de insectos descortezadores. Esto concuerda con lo encontrado en este estudio.

En los bosques de *P. cembroides* estudiados se encontró una mayor tendencia la susceptibilidad al ataque de escarabajos descortezadores en los rodales densos y

puros de pino. La combinación de estos dos factores puede debilitar los árboles, haciéndolos más susceptibles al ataque de *D. mexicanus*.

Por último, en la Figura 3, se procedió a realizar el análisis de probabilidad de Cart, El cual dio como resultado que cuando los porcentajes de pureza son mayores a 98% existe un 87.5% de probabilidad de que ese rodal sea afectado si las condiciones apropiadas se presentan.

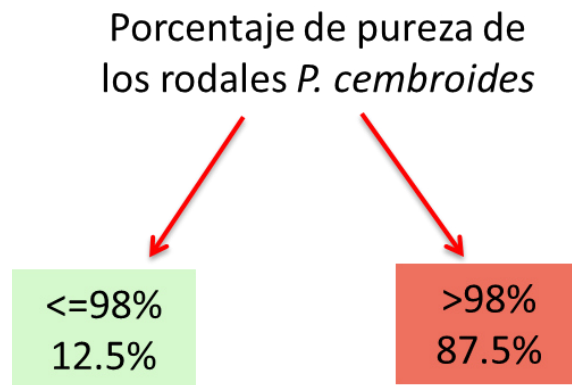


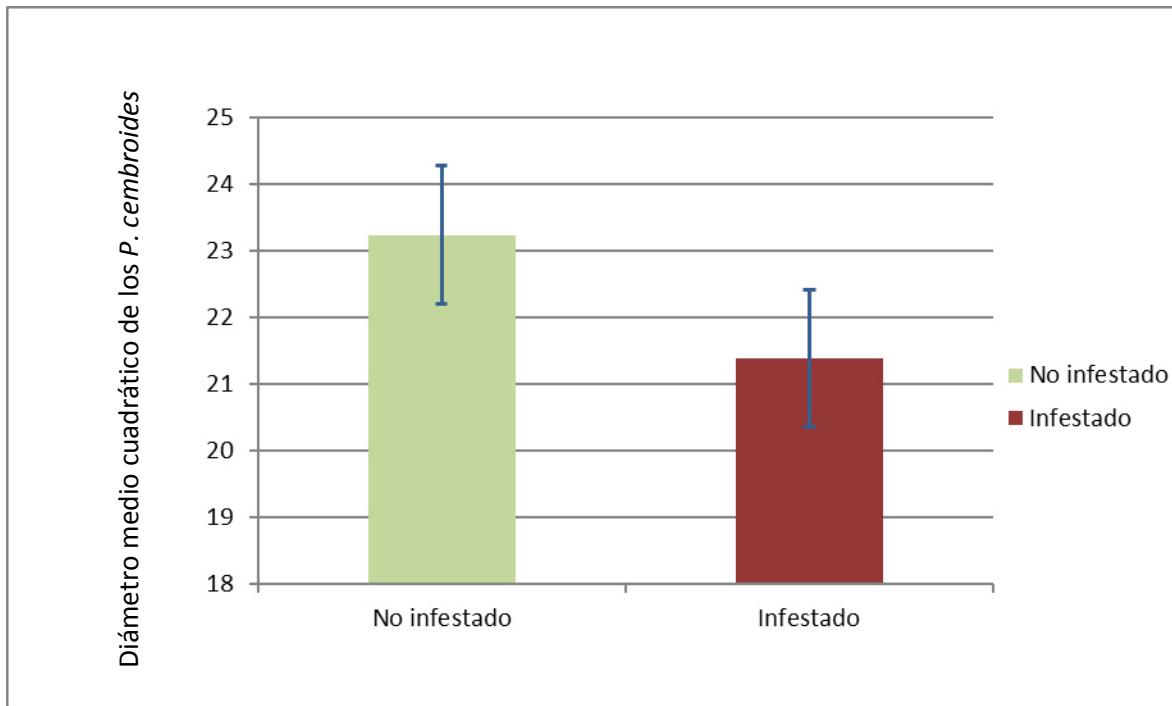
Figura 3. Porcentajes de pureza de los sitios muestreados

#### **4.2.2. Análisis de las variables dasométricas de los rodales.**

La segunda variable que mejor predice el ataque de *D. mexicanus* en *P. cembroides* cuando las condiciones ambientales y poblacionales son las adecuadas es el diámetro cuadrático (87%). Cuando el diámetro cuadrático de *P. cembroides* es menor a 22.2 cm existe una probabilidad de 75% de que estos rodales sean infestados por *D. mexicanus*. Este resultado es similar al reportado por (Negrón y Pop, 2004) para *P. ponderosa* en Colorado, quien encontró que una probabilidad de infestación del 77% para sitios con diámetro cuadrático menor a 18.2 cm y con (Schmid y Mata, 1996) que reportan que los ataques de *D. ponderosae* se presentan con más frecuencia en rodales de pino cuyo diámetro cuadrático es menor a 20.3 cm.

Esta variable presentó una relación inversa, ya que a diámetros cuadráticos menores de *P. cembroides* mayor es la probabilidad de infestación (Gráfica 5). La

mayoría de los sitios infestados tuvieron diámetros cuadráticos de *P. cembroides* menores a 20 cm, esta característica podría estar relacionada con la competencia entre los individuos del género *Pinus* con individuos de otras especies (*Quercus spp* y *Arbutus sp*) ya que considerando la pureza del sitio como predictor fueron los rodales puros los que tuvieron mayor probabilidad de ataque.



Gráfica 5. Diámetro medio cuadrático de *P. cembroides* en sitios infestados y no infestados en Aramberri, N.L.

En la figura 4 se presentan los resultados del análisis de probabilidad de Cart, mediante la cual comprobó que cuando el dg de los *P. cembroides* es menor de 22.2cm existe una probabilidad de 75% de que estos rodales sean infestados por *D. mexicanus*. Esto es muy parecido a lo que encontraron (Negrón y Popp, 2004) con los *P. ponderosa* en Colorado donde la probabilidad de infestación fue de 77% para los sitios con un dg menor de 18.2 cm. Sobre todo, en el sitios secos y malas condiciones de crecimiento.

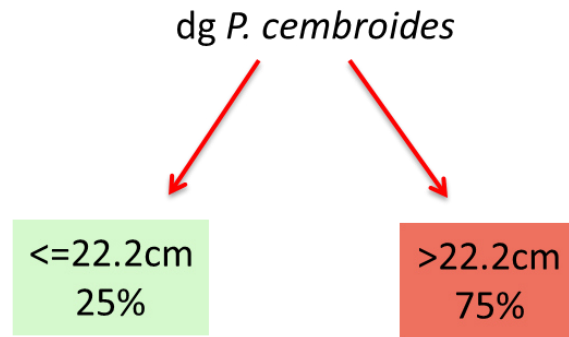


Figura 4. Árbol de probabilidad de Cart

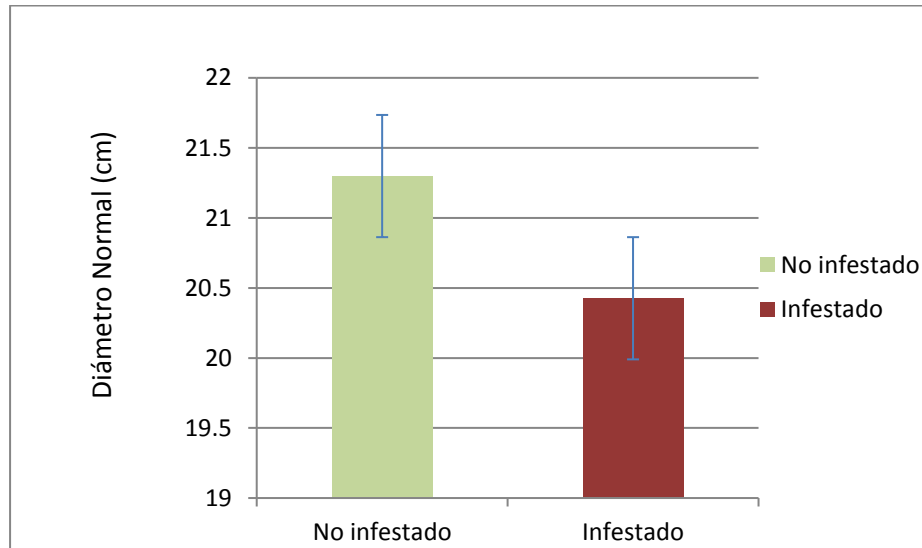
### ***Diámetro normal de los rodales.***

Los diámetros normales de los árboles en los sitios infestados fueron menores que en los sitios no infestados (Gráfica 6). Esta variable presentó un porcentaje de predicción del 81 %. De acuerdo con los resultados del análisis de probabilidad de CART, los sitios con diámetros menores a 20 cm tienen un 75% de probabilidad de ser infestados. Este resultado es similar al reportado por (Sartwell y Stevens, 1975) para *P. ponderosa*, encontrando valores inferiores a 20.3 cm en sitios infestados. Mientras que (McCambridge *et al.*, 1982) reportaron ataques de escarabajos descortezadores más frecuentes cuando el diámetro es inferior a 22.8 cm.

Existen otros autores que han encontrado diámetros similares al encontrado en este estudio como altamente susceptibles al ataque, para *Pinus*, *Picea* y *Abies* en diferentes bosques de Norteamérica (Doak, 2004).

Por otro lado, las infestaciones también se relacionan con el aumento de las poblaciones y a la proporción adecuada de hospedantes (Raffa *et al.*, 2008).

Al igual que con el diámetro cuadrático, estas probabilidades de infestación podrían deberse al efecto de la competencia entre los árboles, provocando debilitamiento y alta susceptibilidad al ataque.



Gráfica 6. Diámetro normal de sitios sanos e infestados en Aramberri, N.L.

También realizo el análisis de probabilidad de Cart de para diámetro normal promedio de los sitios infestados y no infestados, los resultados muestran que cuando los Dn eran menores de 20 cm la probabilidad de infestación aumenta.

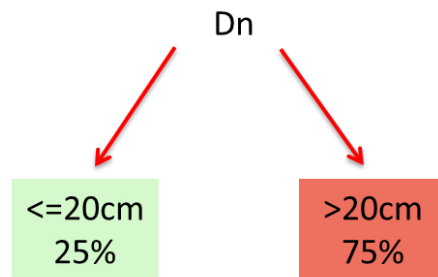


Imagen 3. Análisis de probabilidad del diámetro normal

De acuerdo al análisis de probabilidad de Cart, los sitios con diámetros normales menores a 20 cm tienen un 75% de probabilidad de ser infestados.

Este punto de quiebre es comparable a los registros presentados para las infestaciones de 1980 en Alaska en *Abies sp.* en donde los diámetros menores a 20 cm fueron infestados con mayor frecuencia que los de otras dimensiones (Hard, 1985). Los resultados de este estudio pueden ser útiles para la identificación de las masas sensibles.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De acuerdo con los resultados del análisis de probabilidad de CART, los bosques con más del 98% de pureza de *P. cembroides* son menos susceptibles al ataque de *D. mexicanus*. De la misma manera, los bosques con diámetro cuadrático menor a 22.2 cm o diámetro normal de 20 cm son más susceptibles al ataque, la probabilidad de ataque disminuye a medida que aumenta el diámetro. La altura no parece tener influencia en la susceptibilidad del ataque.

El manejo de la densidad del rodal es una herramienta fundamental para disminuir el riesgo de infestación, se debe considerar la reducción de la densidad y el control de la diversidad de especies para disminuir el riesgo de infestaciones de *Dendroctonus mexicanus* en los bosques de *P. cembroides* de Aramberri, N.L.

Es importante mencionar que las infestaciones de *D. mexicanus* no necesariamente responderán a las variables aquí mencionadas ya que existen factores como el clima o la densidad poblacional que pudieran incrementar la probabilidad de ataque aún en rodales diversos y con diámetros mayores.

Es importante realizar una gestión forestal eficaz de las infestaciones comenzando por la detección temprana de las infestaciones ya sea mediante monitoreos aéreos o terrestres. Existen además modelos para predecir la tasa de crecimiento de la población de escarabajo descortezador y la necesidad de esfuerzos de control (Salom *et al.*, 2003). Para el caso de los bosques de Nuevo León no se han desarrollado modelos específicos por lo que se considera necesarios adaptarlos.

## **7. LITERATURA CITADA**

- Alton, P.W. 2009. Tree Rings, Climate Variability, and Coastal Summer Stratus Clouds in the Western United States. Tesis doctoral de la University Of California.
- Belanger, R. P., & Malac, B. F. (1980). Silviculture can reduce losses from the southern pine beetle. Agriculture Handbook-US Dept. of Agriculture (USA). no. 576.
- Bentz, B., Campbell, E., Gibson, K., Kegley, S., Logan, J., & Six, D. (2011). Mountain pine beetle in high-elevation five-needle white pine ecosystems.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., & Olshen, R. A. (1984). Classification and regression trees. CRC press.
- CETINA, V. et al, 1985 Análisis estructural de un Bosque Piñonero de Pinus cembroides Zucc. en la Amapola, S.L.P. Memorias I Simposium Nacional sobre Pinos Piñoneros, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, México.
- CIBRIAN, T. D. et al. 1995 Insectos Forestales de México. Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México, México.
- CONAFOR, 2007 Ficha técnica de Pinus cembroides Zucc. Bosque y Desarrollo, (<http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/bosquedes/Fichas%20Tecnicas/Pinus%20cembroides.pdf>)
- CONABIO (2008). Características de los bosques de México nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación.
- Deconinck, B., & Kutz, J. N. (2006). Computing spectra of linear operators using the Floquet–Fourier–Hill method. Journal of Computational Physics, 219(1), 296-321.
- Déath, G., Fabricius, K.E., 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. Ecology 81, 3178
- DeRose, R.J., Long, J.N., 2012. Drought-driven disturbance history characterizes a southern Rocky Mountain subalpine forest. Can. J. For. Res. 42, 1649–1660.
- Duehl, A, J. 2008. Predicting Southern Pine Beetle Infestation Risk from Neighborhood History and Environmental Conditions. Tesis doctoral de la North Carolina State University.
- DOAK, P. 2004. The impact of tree and stand characteristics on spruce beetle (Coleoptera: Scolytidae) induced mortality of white spruce in the Copper River Basin, Alaska. Canadian Journal of Forest Research. Ottawa, Canadá. Tomo 34, No. 4; pág. 810. INIGUEZ, G. 1999 Sistema de Clasificación de Riesgo para Dendroctonus frontalis y D. mexicanus en “El Manzano” en Santiago,

Nuevo León, piñonero (*Pinus cembroides*) en el municipio de Aramberri, Nuevo León.

- EDMONDS, R. J.K. et al. 2005 Forest Health and Protection. Waveland Press, Inc., Estados Unidos de América.
- EISENHART, K. et al 2000 Dendroecological detection of spruce bark beetle outbreaks in northwestern Colorado. Canadian Journal of Forest Research. Ottawa, Canadá. Tomo 30, No. 11; pág. 1788.
- FLORES, J.E., 1977 Estudio de la fluctuación de poblaciones del complejo de escarabajos descortezadores del género *Dendroctonus* (Coleoptera: Scolytidae) en la Sierra Madre Oriental, N.L. en 1976-1977. TESIS, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas, México.
- Garcia, J. L., Bocco, G., Velázquez, A., Mas, J. F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., ... & Trejo-Vázquez, I. (1995). La condición actual de los recursos forestales en México:. Investigaciones geográficas, (43), 183-203.
- Gonzalez-Espinosa, M., & Quintana-Ascencio, P. F. (1998). Análisis florístico sucesional en la estación biológica Cerro Huitepec, Chiapas, México. Acta Botanica Mexicana, (44), 59-85.
- Hammond, A., & World Resources Institute. (1995). Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development (No. 333.7/H225). Washington, DC: World Resources Institute.
- Hård, E., & Hansen, S. (1985). Reduced fearfulness in the lactating rat. Physiology & behavior, 35(4), 641-643.
- Hicks, R.R., Coster, J.E., Mason, G.N., 1980. Forest insect hazard rating. J. For. 85, 20–26.
- Joshua, A. W. 2007. Climatic and Edaphic Influences on the Radial Growth of Eastern Redcedar (*Juniperus virginiana*), Smoke Hole Canyon, West Virginia. Tesis de la Universidad De Virginia.
- Kurz, W. A., Beukema, S. J., & Apps, M. J. (1997). Carbon budget implications of the transition from natural to managed disturbance regimes in forest landscapes. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2(4), 405-421.
- Logan, J.A., White, P., Bentz, B.J., Powell, J.A., 1998. Model analysis of spatial patterns in mountain pine beetle outbreaks. Theor. Popul. Biol. 53, 236–255.



- Lujan Alvarez, C., Olivas Garcia, J. M., & Magaña Magaña, J. E. (2004). Desarrollo forestal sostenible en México: sistema jerarquico de criterios e indicadores. Unasyva (FAO).
- Macías-Samano, J. E., Borden, J. H., Gries, R., Pierce Jr, H. D., Gries, G., & King, G. G. S. (1998). Primary attraction of the fir engraver, *Scolytus ventralis*. *Journal of Chemical Ecology*, 24(6), 1049-1075.
- McCambridge, W.F., Knight, F.B., (1982). Factors affecting spruce beetles during a small outbreak. *Ecology* 53, 830–839.
- MacQueen, J.B., 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate
- Negrón, J. (1997). Estimating probabilities of infestation and extent of damage by the roundheaded pine beetle in ponderosa pine in the Sacramento Mountains, New Mexico. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(12), 1936-1945.
- Negrón, J.F., Popp, J.B., (2004). Probability of ponderosa pine infestation by mountain pine beetle in the Colorado Front Range. *For. Ecol. Manage.* 191, 17–27.
- Negrón, J., (2010)., Mountain pine beetle-killed lodgepole pine for the production of submicron lignocellulose fibrils. *Forest Science*, 60(3), 502-511.
- Parish, R., Antos, J. A., & Fortin, M. J. (1999). Stand development in an old-growth subalpine forest in southern interior British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(9), 1347-1356.
- Pérez, D & Singer, N. (1990). A Layperson's guide to the forest codes on Mali, Niger, and Senegal (No. GTZ-234). University of Wisconsin, Madison (EUA). Land Tenure Center.
- Robertson, D. R. (2008). Multi-year ecosystem response to hemlock woolly adelgid infestation in southern New England forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(4), 834-843.
- Rzedowski, J., & McVaugh, R. (1966). La vegetación de Nueva Galicia (No. 581.97273 R9).
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. pg 432. Limusa. Mexico.
- Salinas-Moreno, Y., Mendoza, G., Barrios, M. A., Cisneros, R., Macías-Sámano, J., & Zuniga, G. (2004). Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. *Journal of Biogeography*, 31(7), 1163-1177.
- Sartwell, C., & Stevens, R. E. (1975). Mountain pine beetle in ponderosa pine--prospects for silvicultural control in second-growth stands. *Journal of Forestry*, 73(3), 136-140.

- Salom, S. M., & Kok, L. T. (2003). Seasonal abundance and synchrony between *Laricobius nigrinus* (Coleoptera: Derodontidae) and its prey, the hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae). *The Canadian Entomologist*, 135(01), 103-115.
- Samuli, H.; H. Salmani; M. Varmola. 2007. Dendroclimatological analysis of seeded and thinned Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands at the coniferous timberline. *New forests*. Pag 35:267-284.
- Schmid, J.M., Mata A, 1996. Spruce beetles in blowdown (Resource Note No. RM-411). USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins CO.
- SEMARNAT, Dirección General de Estadística e Información Ambiental 2000 ([http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/07\\_Aprovechamiento/7.1\\_Recursos/index.shtml](http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_2000/informe_2000/07_Aprovechamiento/7.1_Recursos/index.shtml))
- Seppä, H., Bjune, A. E., Telford, R. J., Birks, H. J. B., & Veski, S. (2009). Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe. *Climate of the Past*, 5(3), 523-535.
- Showalter, T. D., & Turchin, P. (1993). Southern pine beetle infestation development: interaction between pine and hardwood basal areas. *Forest Science*, 39(2), 201-210.
- Timofeev, I., & Steriade, M. (2004). Neocortical seizures: initiation, development and cessation. *Neuroscience*, 123(2), 299-336.
- Velazco, A. (2008). Distribución de coníferas, Nuevo León, México ( Universidad Autónoma de Nuevo León).
- VILLA C. J. et al. 1994 Modelo para la identificación de rodales susceptibles al ataque de descortezadores en el sur de Jalisco. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.
- World Resources Institute. (1995). Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development (p. 50). Washington, DC: World Resources Institute.
- WAGNER, T. et al 1984 Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 77: 208-225.
- Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics bulletin*, 1(6), 80-83.
- Zuñiga, G., & Uria-Galicia, E. (1995). Comparative anatomical and histological study of the alimentary canal of *Dendroctonus parallelcolis*, *D. rhizophagus*, and *D. valens* (Coleoptera: Scolytidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 91(4),